



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 15 194 A 1**

⑤① Int. Cl. 6:
H 01 L 21/3065
H 01 L 49/00
// G01P 15/09

②① Aktenzeichen: 197 15 194.9
②② Anmeldetag: 11. 4. 97
②③ Offenlegungstag: 30. 10. 97

③③ Unionspriorität:

8-89210 11.04.96 JP
9-13949 28.01.97 JP

⑦① Anmelder:

Denso Corp., Kariya, Aichi, JP; Nippon Soken, Inc.,
Nishio, Aichi, JP

⑦④ Vertreter:

Kuhnen, Wacker & Partner, Patent- und
Rechtsanwälte, 85354 Freising

⑦② Erfinder:

Matsuhiro, Yasushi, Nishio, Aichi, JP; Asami,
Kazushi, Nishio, Aichi, JP; Yoshino, Yoshimi, Kariya,
Aichi, JP

⑤④ Verfahren zum Herstellen von Halbleitervorrichtungen unter Verwendung von Trockenätzen

⑤⑦ Ein Herstellungsverfahren für Halbleitervorrichtungen, das imstande ist, in Mikroelektronikvorrichtungen, wie beispielsweise Winkelgeschwindigkeitssensoren, verwendet zu werden, beinhaltet die Schritte eines Vorbereitens eines Silizium-Wafers, der eine Schichtung eines p-Typ Siliziumsubstrats und einer darauf ausgebildeten n-Typ Epitaxialschicht aufweist, eines Definierens einer Mehrzahl von Vertiefungsstellen auf einer vorgeschriebenen Oberfläche des Wafers, wobei jede eine Stelle verminderter Dicke an der gegenüberliegenden Oberflächenseite aufweist, welche aus der Epitaxialschicht besteht, eines Ausbildens von mehreren Durchgangslöchern in jeder Stelle verminderter Dicke durch ein Bewirken, daß ein aus einem thermisch leitenden Material bestehendes gel- oder ölfartiges Kühlmittelmedium in Kontakt mit einer Oberfläche der Stelle verminderter Dicke des Siliziumsubstrats angeordnet wird und ein Ausführen eines Trockenätzens eines bestimmten Bereichs von der anderen Oberfläche der Stelle verminderter Dicke, und danach eines Entfernens des Mediums. Dieses Medium dient zum Absorbieren und Ableiten von einer an der Stelle verminderter Dicke während des Trockenätzens erzeugten Wärme.

DE 197 15 194 A 1

BEST AVAILABLE COPY

DE 197 15 194 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 09. 97 702 044/904

24/23

Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein ein Herstellungsverfahren für Halbleitervorrichtungen, und im besonderen ein Verfahren zum Herstellen oder Weiterverarbeiten von Halbleitervorrichtungen unter Verwendung von Trockenätztechniken.

Ein früherer bekannter Ansatz zur Ausbildung von Winkelgeschwindigkeitssensoren mit piezoelektrisch schwingenden Kreiseln unter Verwendung einer Silizium-Mikromaterialbearbeitungstechnologie ist zum Beispiel in der ungeprüften veröffentlichten japanischen Patentanmeldung Nr. 6-147903 offenbart. Bei diesem bekannten Verfahren, werden Durchgangslöcher in einer dünnwandigen Stelle oder einer Stelle verminderter Dicke eines Siliziumsubstrats durch Ätzen ausgebildet, das ein Vibrations- bzw. Schwingelement mit einem freitragenden Trägeraufbau schafft. In diesem Fall wird der Schwingungserzeuger durch Ausführen einer Ätzbehandlung von den gegenüberliegenden Oberflächen des Siliziumsubstrats ausgebildet. Anzumerken ist, daß die hier benutzte Ätzbehandlung allgemein in zwei Kategorien eingeteilt werden kann: (1) eine Bearbeitung innerhalb der Oberflächen des Siliziumsubstrats (Flächenätzen) und (2) eine Bearbeitung entlang der Dicke (Tiefen- bzw. Dickenätzen). Bei einer Flächenbearbeitung des Siliziumsubstrats (Flächenätzen) wird das Substrat in gleicher Weise wie bei gewöhnlichen Halbleitervorrichtungen durch photolithographische Technologie mit einem Resist-Muster, das als eine Maske verwendet wird, direkt geätzt; diese Art des Ätzens weist einen hohen Form-Freiheitsgrad auf, während es seine Ätzbedingungen ermöglichen, in vorteilhafterweise den der Verfahren zur Bearbeitung von Standardhalbleitervorrichtungen zu entsprechen. Andererseits bleibt es bei der Bearbeitung entlang der Dicke (Tiefenätzen) schwierig, ein direktes Ätzen mit einem hierfür als Maske dienenden Resistmuster zu erzielen; eine andere Möglichkeit die Form zu bestimmen, ist entweder die Verwendung einer Dummy- oder "Opfer"-Schicht, die entlang der Dicke eines Wafers vorausgebildet ist, einer Ätz-Stopp-Schicht und eines PN-Übergangs oder ein Steuern der Ätzmenge in Zeitverwaltungsschemas. In diesem Fall ist die Ätzmenge (Fläche und Tiefe) verglichen mit einer gewöhnlichen Bearbeitung von Halbleitervorrichtungen relativ groß, wobei die Ätzbedingungen zu einer strengen Einhaltung tendieren, wenn einem Durchsatz Vorrang eingeräumt wird.

Aufgrund der oben erwähnten Eigenschaften wird das Flächenätzen typischerweise derartig entwickelt, daß die obere Oberfläche erster Gegenstand eines Trockenätzens ist, wohingegen das Tiefenätzen ein erstes Verarbeiten der Bodenoberfläche durch Naßätztechniken bewirkt. Wenn ein Siliziumsubstrat von seinen beiden Oberflächen her geätzt wird, um einen beabsichtigten Schwingungserzeuger zu auszubilden, wird dementsprechend ein Flächenätzen an einem Flächen-substrat 60 durchgeführt, wodurch Vertiefungsstellen 61 definiert werden, wie es in Fig. 18 gezeigt ist. Wie es in Fig. 19 gezeigt ist, wird danach ein Tiefenätzen am Siliziumsubstrat 60 durchgeführt, das eine Vertiefungsstelle 62 ausbildet, um dadurch die Vertiefungen 61 zu Durchgangslöchern werden zu lassen. Eine andere Möglichkeit hierfür ist, ein Siliziumsubstrat 63 Gegenstand des Tiefenätzens werden zu lassen, das eine Vertiefungsstelle 64 ausbildet, wie es in Fig. 20 gezeigt ist; dann ist das Siliziumsubstrat 63 Gegenstand einer Flächenätzbehandlung, das mehrere Durchgangslöcher 65 definiert,

wie es in Fig. 21 gezeigt ist.

Es folgt ein Vergleich dieser beiden Ätzverfahren. Bei dem in den Fig. 18 und 19 gezeigten Ätzverfahren tendiert während der Tiefenätzung eine Ätzflüssigkeit oder ein Ätzgas lokal in die Vertiefungen 61 einzutreten bzw. durchzufließen, wie sie bei Beendigung der Flächenätzbehandlung ausgebildet sind — nämlich wenn die resultierenden Durchgangslöcher definiert werden — was zu einem unerwarteten Ätzen und/oder unerwünschten Oberflächenaufbau führt, welcher leicht auf der Substratoberfläche oder den Seitenoberflächen jeder Vertiefung 61 auftreten kann. Andererseits bietet das Verfahren in den Fig. 20 bzw. 21 den Vorteil, daß auf der oberen Oberfläche auszubildende Elemente und deren zugehörige Leitungsdrähte frei von dem Tiefenätzen mit strengen Bedingungen sein können, da dieses Verfahren derartig aufgebaut ist, daß das Tiefenätzen, um die Stelle 66 verminderter Dicke auszubilden, von der Bodenoberfläche her durchgeführt wird und danach das Flächenätzen von der oberen Oberfläche ausgeführt wird. Aus diesem Grunde kann das in den Fig. 20 bzw. 21 gezeigte Verfahren für die Herstellung von Sensoren benutzt werden.

Wo jedoch ein Trockenätzen an der Stelle 66 verminderter Dicke unter Verwendung des Verfahrens von den Fig. 20 bzw. 21 durchgeführt wird, wird sich eine lokale Temperaturerhöhung aus folgenden Gründen ergeben. Wie es in Fig. 22 gezeigt ist, weist eine durch ein Tiefenätzen ausgebildete Stelle 66 verminderter Dicke weniger Wärmeübergangsfläche auf als die nichtgeätzten Stellen; daher fließt eine Wärme kaum in Richtung der Seite einer Grundplatte 67. Wenn das Flächenätzen ausgeführt wird, wie es in Fig. 23 gezeigt ist, wird die Wärmeübergangsfläche mit einem Fortschreiten des Ätzens verringert, wodurch der Wärmefluß in Richtung zu der Grundplatte 67 hin erschwert wird.

Die lokale Temperaturerhöhung ist insofern schlecht, als sie die Reaktionsrate des Siliziumsubstrats (Wafer) mit einem Ätzgas oder Radikalen erhöht. Als Ergebnis davon erhöht sich die Seitenätzrate, während das Siliziumsubstrat 63 und eine Stelle 66 verminderter Dicke in Folge einer Anwendung von thermischen Streß sich verformen können, was bewirkt, daß eine Ätzmaske "rauh" wird und an ihren Kanten überätzt wird, was wiederum zu einer Verminderung einer Genauigkeit in einer Flächenätzbehandlung führt.

Eine Technik zum Kühlen des Substrats durch Zuführen eines ausgewählten Kühlmittelgases zu dem Substrat, das während eines Ätzens auf einer Trägerplatte in einer Kammer angeordnet ist, ist in den nichtgeprüften veröffentlichten japanischen Patentanmeldungen Nr. 1-251735, 6-112302, 7-249586 und anderen offenbart. Es sollte berücksichtigt werden, daß die darin offenbarte Technik zum Versorgen des Substrats mit einem Kühlmittelgas während des Ätzens zur Ausbildung von Durchgangslöchern benutzt wird. Wenn Durchgangslöcher das Substrat durchdringend ausgebildet sind, versucht jedoch bei einem derartigen Aufbau ein derartiges Kühlmittelgas, in die Innenseite der Ätzkammer einzudringen oder sie zu "besetzen", was es unmöglich macht, eine reguläre Ätzbehandlung zu erzielen, was wiederum zu einer Verminderung in der Bearbeitungsgenauigkeit führt.

Als Kühlverfahren des Substrats (Wafer) für eine Anwendung in einer Standardtrockenätzvorrichtung ist ein anderes Verfahren bekannt, welches das Substrat an seiner Bodenoberfläche zu einem engen Kontakt mit der Plattform, welche eine Kühlfunktion aufweist,

zwingt. Dieses Verfahren wird zum Beispiel in der ungeprüften veröffentlichten japanischen Patentanmeldung Nr. 8-165571 offenbart, wobei ein ausgewähltes Kühlungsmedium oder Kühlmittel auf der oberen Oberfläche des Tragetisches unter Verwendung eines flexiblen Blattes versiegelt ist, während das Substrat auf diesem Blatt mit einem dazwischengelegten elastischen Gummielement angeordnet ist, wodurch das Substrat während eines Ätzens durch das Kühlmittel gekühlt wird. Vermutlich wird diese Technik verwendet, um das Ätzen zur Ausbildung von Durchgangslöchern zu erzielen. Da es nach einer Ausbildung der Vertiefungsstelle 64 in dem Siliziumsubstrat 63 in Fig. 20 erforderlich ist, daß das Substrat über dem kühlmittelversiegelnden flexiblen Blatt mit dem dazwischenliegenden Gummielement angeordnet wird, ist es bei diesem Ansatz jedoch unmöglich, das kühlmittelversiegelnde flexible Blatt und das Gummielement in einer derartigen Weise anzuordnen, daß die Innenseite einer Vertiefung 64 des Siliziumsubstrats 63, wie es in Fig. 20 gezeigt ist, fast vollständig gefüllt ist, was zu einer Verminderung der Kühlwirksamkeit und damit zu einer verschlechterten Bearbeitungsgenauigkeit führt.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung von Halbleitervorrichtungen zu schaffen, das in der Lage sind, eine Verringerung in der Bearbeitungsgenauigkeit des Trockenätzens an einem Halbleitersubstrat auszuschließen.

Gemäß eines Aspekts der vorliegenden Erfindung wird eine Durchgangsöffnung bzw. -loch, welche bzw. welches sich durch eine Stelle verminderter Dicke ausdehnt, dadurch ausgebildet, daß bewirkt wird, daß ein aus einem gewählten thermisch leitfähigen Material bestehendes gel- oder ölartiges Medium in Kontakt mit einer der Oberflächen der Stelle verminderter Dicke des Halbleitersubstrats angeordnet wird, und dann ein Trockenätzen eines bestimmten Bereichs von der anderen der Oberflächen der Stelle verminderter Dicke durchgeführt wird; danach wird das Medium entfernt. Anzumerken ist hier, daß die während des Trockenätzens erzeugte Wärme über das gel- oder ölartige Medium abfließen kann. Dementsprechend wird jede lokale Temperaturerhöhung nicht länger stattfinden, was die Ätzbearbeitungsgenauigkeit erhöht.

Da das gel- oder ölartige Medium genau abgestimmt benutzt wird, wird es weiterhin bei der vorliegenden Erfindung nach einer Fertigstellung der das Substrat durchdringenden Durchgangsöffnungen bzw. -löcher auf keinen Fall vorkommen, daß das Medium versucht, in die Innenseite einer Ätzkammer einzudringen oder sie zu "besetzen".

Besonders vorteilhaft ist es, daß ein Aufbringen des Mediums in solch einer Weise ausgeführt wird, daß dieses Medium gehärtet wird, während bewirkt wird, daß ein flüssiges Medium vor dem Härten mit einer Oberfläche der Stelle verminderter Dicke in Kontakt ist. Dies kann ein solch flüssiges Medium in die Lage versetzen, in einen engen Kontakt mit dem Siliziumsubstrat gebracht zu werden, was die Kühlwirksamkeit verbessert.

Gemäß eines anderen Aspekts der Erfindung wird durch Ätzen eines bestimmten Bereichs einer ersten Oberfläche des Halbleitersubstrats eine Vertiefung definiert, was die sich ergebende Vertiefung in die Lage versetzt, mit einem aus einem thermisch leitenden Material bestehenden gel- oder ölartigen Medium gefüllt zu werden. Danach wird ein Trockenätzen an einem bestimmten Bereich der an dem Boden der Vertiefung ausgebildeten Stelle verminderter Dicke einer zweiten

Oberfläche des Halbleitersubstrats durchgeführt, um dadurch ein oder mehrere sich durch die Stelle verminderter Dicke ausdehnende Durchgangslöcher auszubilden. Zum Schluß wird das Medium entfernt. Dies stellt sicher, daß jede mögliche erzeugte Wärme durch das in der Vertiefung angebrachte Medium entweichen kann, was wiederum zu einer Fähigkeit eines Ausschließens einer lokalen Temperaturerhöhung führt, und somit das Auftreten einer Verminderung in einer Ätzbearbeitungsgenauigkeit vermeidet. In diesem Fall kann es ebenso vorteilhaft sein, daß das Aufbringen des Mediums derartig ausgeführt wird, daß es gehärtet wird, während bewirkt wird, daß ein flüssiges Medium vor dem Härten in die Vertiefungsstelle gefüllt wird.

Gemäß eines weiteren anderen Aspekts der Erfindung kann eine Bearbeitung des Durchgangslochs die Schritte eines Ausbildens eines Trennfilms als Trennwand oder "Barriere" auf einer Oberfläche einer Stelle verminderter Dicke, wie sie in einem Halbleitersubstrat ausgebildet ist, und ein Ausbilden eines oder mehrerer sich durch die Stelle verminderter Dicke ausdehnenden Durchgangslöcher mittels Trockenätzens eines bestimmten Bereichs an der Stelle verminderter Dicke beinhalten, während ein Kühlmittel oder ein Kühlmittelfluid der den Trennfilm ausbildenden Oberfläche der Stelle verminderter Dicke zugeführt wird. Danach wird der Trennfilm entfernt. In diesem Fall wird während einem derartigen Trockenätzens das Kühlmittelfluid unter einer bestimmten Bedingung zugeführt, die ein Erzielen eines erfolgreichen Trennens von dem Halbleitersubstrat durch den als Barriere fungierenden Trennfilm erlaubt. Das Kühlmittelfluid dient zum Absorbieren und Ableiten der in der Stelle verminderter Dicke erzeugten Hitze. Dies kann verhindern, daß eine Temperaturerhöhung lokal auftritt, was eine Verminderung einer Ätzbearbeitungsgenauigkeit vermeidet. Ein anderer Vorteil der Erfindung ist, daß ein Vorhandensein des Trennfilms dazu dienen kann, ein Eindringen des Mediums in die Innenseite einer Ätzkammer durch die sich ergebenden Durchgangslöcher in das Substrat zu verhindern. Ein weiterer Vorteil ist, daß eine Kühlwirksamkeit durch Zuführen des Kühlmittelfluids zu dem Trennfilm, der mit dem Substrat kontaktiert ist, verbessert werden kann.

Gemäß eines weiteren anderen Aspekts der Erfindung wird eine Vertiefung durch Ätzen eines bestimmten Bereichs von der ersten Oberfläche des Halbleitersubstrats ausgebildet, was ein Ausbilden eines als Barriere fungierenden Trennfilms auf der Innenwandoberfläche der Vertiefung erlaubt. In diesem Fall wird mehr als ein sich durch eine Stelle verminderter Dicke ausdehnendes Durchgangsloch durch Trockenätzen eines bestimmten Bereichs von einer zweiten Oberfläche des Halbleitersubstrats an der Stelle verminderter Dicke ausgebildet, während eine kontinuierliche Zufuhr eines Kühlmittelfluids zu der Innenseite der Vertiefung erlaubt wird. Danach wird der Trennfilm entfernt. Bei diesem Ansatz wird das Kühlmittelfluid der Innenseite einer derartigen Vertiefung zugeführt, welche bei diesem durch das Vorhandensein des als Barriere fungierenden Trennfilms versiegelten Zustands Wärme absorbiert und ableitet. Dies dient vorteilhafterweise zum Ausschließen eines Auftretens einer lokalen Temperaturerhöhung, was eine Verminderung der Ätzzgenauigkeit vermeidet.

Es sollte festgehalten werden, daß das Trockenätzen ein Reaktions-Ionen-Ätzen sein kann. Anzumerken ist ebenso, daß die Verwendung eines gelartigen Mediums,

das Silikonharz bzw. Siliziumharz oder dergleichen enthält, zur Wärmeableitung an der Stelle verminderter Dicke durch seine innewohnende Flexibilität jede ungünstige Beeinflussung oder Einfluß in Bezug auf das Halbleitersubstrat, die oder der anderweitig aufgrund der Anwendung von thermischen Streß darauf auftritt, aufgeschlossen werden kann.

Es sollte weiterhin festgehalten werden, daß in Fällen, wo ein Fluid eines niedrigen Dampfdrucks (z. B. ein auf Fluor basierendes Polymeröl oder ein auf Silizium basierendes Polymeröl) als das Kühlmittelfluid verwendet wird, dieses sicherstellen kann, daß bei Anwendung von Wärme während eines Ätzens eine Verdampfung kaum stattfinden kann, wodurch ein Aufrechterhalten der erforderlichen Ätzumgebung ermöglicht wird. Zusätzlich kann das Kühlmittelfluid ein gasförmiges Material (z. B. ein Inertgas) sein.

Die vorliegende Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung näher erläutert.

Es zeigt:

Fig. 1 ein Diagramm einer perspektivischen Ansicht eines Halbleiterwinkelgeschwindigkeitssensors in Übereinstimmung mit einer ersten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 eine vergrößerte Darstellung eines Schwingungserzeugers, wie er in der Ausführungsform in Fig. 1 verwendet wird;

Fig. 3 eine Seitenansicht des Schwingungserzeugers aus einer durch eine Linie in Fig. 2 bestimmten Richtung gesehen, zusammen mit seinem dazugehörigen elektrischen Schaltkreis;

Fig. 4 eine Querschnittsansicht des Schwingungserzeugers in Fig. 2 entlang einer Linie IV-IV;

Fig. 5a und 5b jeweils diagrammartige Darstellungen für eine Erklärung des Arbeitsprinzips;

Fig. 6 bis 10 und 13 einige der Hauptschritte in der Herstellung des Halbleiterwinkelgeschwindigkeitssensors in Querschnittsdarstellung;

Fig. 11 und 12 einige der Hauptschritte der Herstellung eines Wafers, der die Erfindung enthält, in perspektivischer Ansicht;

Fig. 14 und 15 einige der Hauptschritte in der Herstellung eines Halbleitergeschwindigkeitssensors in Übereinstimmung mit einer anderen Ausführungsform der Erfindung in Querschnittsansicht;

Fig. 16 und 17 einige der Hauptschritte bei der Herstellung eines Halbleiterwinkelgeschwindigkeitssensors in Übereinstimmung mit einer weiteren Ausführungsform der Erfindung in Querschnittsansicht; und

Fig. 18 bis 23 Diagramme, die mehrere Vorrichtungen im Stand der Technik in Querschnittsansicht zeigen.

Nachstehend erfolgt die Beschreibung einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die begleitende Zeichnung.

Bei dieser Ausführungsform wird angenommen, daß das Konzept der Erfindung auf Halbleiterwinkelgeschwindigkeitssensoren, die eine Silizium-Mikro-Materialbearbeitungstechnologie verwendet, angewendet wird. Ein Halbleiterwinkelgeschwindigkeitssensor, wie er in Fig. 1 gezeigt ist, weist ein ein rechteckiges Rahmenelement 2 definierendes Siliziumsubstrat 1 auf, und ein schwingendes Element 3 ist innerhalb des Rahmenelements 2 einstückig ausgebildet.

Fig. 2 zeigt eine vergrößerte Ansicht des Schwingungserzeugers 3. In Fig. 2 wird ein dreiaxiales Koordinatensystem verwendet, welches von einer seitlichen bzw. horizontalen Richtung des Papiers oder der Zeich-

nungsebene als X-Richtung (X-Achse), der Normalen-Richtung des Papiers als Y-Richtung (Y-Achse) und der Längs- oder Vertikalrichtung dazu als Z-Richtung (Z-Achse) ausgeht.

Wie es in Fig. 1 gezeigt ist, macht der in der Erfindung enthaltene Winkelgeschwindigkeitssensor Gebrauch von dem Siliziumsubstrat 1 einer ausgewählten Dicke 11. Das Siliziumsubstrat 1 weist einen darin mittig ausgebildeten rechteckigen leeren Raum oder "Öffnung" 4 auf, um dadurch das rechteckige Rahmenelement 2 und den stimmgabelförmigen Schwingungserzeuger 3, der wie gezeigt mit dem Rahmen 2 verbunden ist, zu definieren. Der Schwingungserzeuger 3 wird in einem aufrecht stehenden Zustand verwendet. Anzumerken ist hier, daß der Schwingungserzeuger 3 ein Abschnitt verminderter Dicke ist, welcher eine geringere Dicke als der rechteckige Rahmen 2 aufweist.

Wie es in Fig. 2 gezeigt ist, besteht der Schwingungserzeuger 3 im wesentlichen aus einem Paar von parallelen Armabschnitten 5 und 6, die sich aufwärts verlängern und einem Kopplungsabschnitt 7, welcher diese Arme 5 und 6 mit dem rechteckigen Rahmen 2 koppelt. Weiter besteht ein Arm 5 aus einem breiten Armabschnitt 8, der eine rechteckige Form aufweist, einem schmalen Armabschnitt 9 und einem rechteckförmigen Massenabschnitt 10. Genauso besteht der andere Arm 6 aus einem breiten Armabschnitt 11, der einem Rechteck gleicht, einer Stelle 12 eines schmalen Arms und einem Massenabschnitt 13.

Die Kopplung 7 weist eine T-Form auf, die es einer vertikalen Stelle 7a der Kopplung 7 gestattet, sich von der oberen Oberfläche des rechteckigen Rahmens 2 aufwärts auszudehnen, während es einer horizontalen Stelle 7b erlaubt, sich seitlich von der oberen Eckstelle der vertikalen Stelle 7a auszudehnen. Der breite Armabschnitt 8 ist aufwärts von der oberen Oberfläche der Horizontalstelle 7b ausgedehnt, während der andere breite Armabschnitt 11 sich von der oberen Oberfläche der horizontalen Stelle 7b aufwärts ausdehnt.

Weiterhin dehnt sich der schmale Armabschnitt 9 von der oberen Oberfläche des breiten rechteckigen Armabschnitts 8 aufwärts aus, und weist an seiner oberen Kante den rechteckförmigen Massenabschnitt 10 auf, der sich aufwärts ausdehnt. Genauso ist der schmale Armabschnitt 12 von der oberen Oberfläche des breiten rechteckigen Armabschnitts 11 aufwärts ausgedehnt und weist an seiner oberen Kante den rechteckförmigen Massenabschnitt 13 auf, der sich aufwärts verlängert.

Ein Paar von ersten und zweiten piezoelektrischen Elementen 14 und 15, die jeweils als ein Antrieb fungieren, ist an der vorderen Oberfläche der Horizontalstelle 7b der Kopplung 7 des Schwingungserzeugers 3 angeordnet. Diese ersten und zweiten piezoelektrischen Antriebselemente 14 und 15 besitzen eine sich seitlich (in der X-Richtung) ausdehnende Streifenform, während die beiden piezoelektrischen Antriebselemente 14 und 15 parallel zueinander angeordnet sind. Wie es in Fig. 3 gezeigt ist, welche eine Seitenansicht (entlang einer Linie A gesehen) des Aufbaus der Fig. 2 darstellt, weist jedes dieser piezoelektrischen Elemente 14 und 15 einen mehrschichtigen Aufbau auf, der aus Dünnschichtelektroden 16, 17 und einem dazwischen befindlichen, beidseitig umfaßten, piezoelektrischen Dünnschicht besteht.

Zurückkehrend zu Fig. 2, ist dort ein piezoelektrischer Melder 19 an der vorderen Oberfläche des breiten Armabschnitts 8 des Schwingungserzeugers 3 angeordnet. Ähnlich ist ein anderer piezoelektrischer Melder 20 an der vorderen Oberfläche des breiten Armabschnitts

11 des Schwingungserzeugers 3 angeordnet. Jeder der piezoelektrischen Melder 19 und 20 besitzt eine rechteckige Form. Wie aus der Fig. 4 entnommen werden kann, welche eine Querschnittsansicht des Aufbaus in Fig. 2 entlang einer Linie IV-IV zeigt, weist jedes piezoelektrische Element 19 und 20 einen vielschichtigen Aufbau auf, der aus einer inneren und äußeren Dünnschichtelektrode 21 und 22 und einem dazwischenliegenden Dünnschichtfilm 23 besteht, welcher aus einem ausgewählten piezoelektrischen Material hergestellt ist.

Die piezoelektrischen Elemente 14, 15, 19, 20 bestehen aus ZnO oder dergleichen wie die piezoelektrischen Dünnschichtmaterialien (18, 23). Diese ZnO-Filme können durch Sputtering-Techniken ausgebildet werden. Die piezoelektrischen Antriebselemente 14 und 15 weisen bestimmte Eigenschaften auf: Sie werden sich beim Anlegen eines ausgewählten Potentials, das eine positive Polarität gegenüber dem Massepotential aufweist, physikalisch ausdehnen; sie können sich bei Anlegen eines negativen Potentials zusammenziehen.

Wie es in Fig. 1 gezeigt ist, weist das Halbleitersubstrat 1 eine elektrische Antriebsschaltung 24 und eine Signalverarbeitungsschaltung 25 auf, welche darauf unter Verwendung einer Halbleiter-Mikroelektronik-Bearbeitungstechnologie auf dem Halbleitersubstrat 1 hergestellt werden, um mit dem Substrat 1 verbunden zu sein, was einen "Ein-Chip"-IC-Aufbau schafft.

Wie es in Fig. 3 gezeigt ist, werden die ersten und zweiten piezoelektrischen Antriebselemente 14, 15 durch Aluminiumdünnschichtleitungen mit der Antriebsschaltung 24 elektrisch verbunden. Insbesondere ist sowohl die Dünnschichtelektrode 17 des ersten piezoelektrischen Antriebs 14 als auch die des zweiten piezoelektrischen Antriebselements 15 gemeinsam auf Masse gelegt, und ein Wechselstrom-(AC)-Antriebssignal SG1 (Sinuswelle) ist für die Dünnschichtelektrode 16 des ersten piezoelektrischen Antriebs 14 vorgesehen. Die Mitte der Amplitude dieses Antriebssignals SG1 ist gleich dem Massepotential. Ein anderes AC-Antriebssignal SG2, welches gegenphasig zu dem AC-Signal SG1 ist, ist für die Dünnschichtelektrode 16 des zweiten piezoelektrischen Antriebs 15 vorgesehen.

Wie es in Fig. 4 gezeigt ist, werden die piezoelektrischen Melder 19, 20 durch Aluminiumdünnschichtfilme oder dergleichen mit der Signalverarbeitungsschaltung 25 elektrisch gekoppelt, die es von den piezoelektrischen Meldern 19, 20 herausgegebenen elektrischen Signalen gestattet, der Signalverarbeitungsschaltung 25 zugeführt zu werden. Insbesondere wird die jeweilige Dünnschichtelektrode 21, 22 der piezoelektrischen Melder 19, 20 mit der Signalverarbeitung 25 elektrisch verbunden, um jede Abweichung entlang der Vorwärts-/Rückwärtsrichtungen (Y-Richtung) an den breiten Armabschnitten 8, 11 des Schwingungserzeugers 3 als elektrische Signale zuzuführen.

Das Prinzip der Winkelgeschwindigkeitsmessung unter Verwendung des vorhergehenden in der Erfindung enthaltenen Winkelgeschwindigkeitssensors wird wie folgt durchgeführt.

In der Antriebsschaltung 24 in Fig. 3 werden AC-Signale (Antriebssignale) SG1, SG2 erzeugt, welche zu dem ersten und dem zweiten piezoelektrischen Antrieb 14, 15 gegenphasig sind. Wie es in Fig. 5a gezeigt ist, reagiert der untere, erste piezoelektrische Antrieb 14 als Antwort darauf mit einem Zusammenziehen, wohingegen der obere, zweite piezoelektrische Antrieb 15 dementsprechend versucht, sich auszudehnen. Diese Schrumpfungs- und Ausdehnungsvorgänge finden zur

gleichen Zeit statt (in Synchronität zueinander). Aufgrund solcher Schrumpfungs- und Ausdehnungsvorgänge der Antriebe 14, 15 werden die Armabschnitte 5, 6 in einer derartigen Weise bedeutsam deformiert, daß die Seitenabschnitte ihrer oberen Kante in horizontaler Richtung (X-Richtung) weit auseinandergehen.

Wie es in Fig. 5b gezeigt ist, versucht anschließend der obere zweite piezoelektrische Antrieb 15, sich zusammenzuziehen, wohingegen der untere erste piezoelektrische Antrieb 14 sich ausdehnt. Diese Vorgänge treten gleichzeitig (in Synchronität zueinander) auf. Derartige Schrumpfungs- und Ausdehnungsvorgänge der piezoelektrischen Antriebe 14, 15 bewirken, daß sich die Arme 5, 6 derartig bedeutsam deformieren, daß ihre oberen Kanten in der horizontalen Richtung (X-Richtung) näher zueinanderkommen.

Die Vorgänge der Fig. 5a und 5b — nämlich die Ausdehnungs- und Schrumpfungsvorgänge der ersten und zweiten piezoelektrischen Antriebe 14, 15 — werden wiederholt, was die Arme 5 und 6 zu einem seitlichen (in der X-Richtung) Schwingen zwingt. Die resultierenden Schwingungen wirken um Antriebsschwingungen (Erregungsvorgang) wie erforderlich zu schaffen.

Während des Erregungsvorgangs des Schwingungserzeugers 3 wird dann, wenn eine Drehwinkelrate Ω auf die Achsenmitte L1 des Schwingungserzeugers 3 angewendet wird, wie es in Fig. 2 gezeigt ist, eine Coriolis-Kraft in den Vorwärts- und Rückwärtsrichtungen (Y-Richtung) erzeugt. Die sich ergebenden Schwingungsanteile werden durch die piezoelektrischen Melder 19, 20 erfaßt, und werden dann zu der Signalverarbeitung 25 gesendet. Als Antwort darauf führt die Bearbeitung 25 einen Differenzverstärkervorgang durch, der ein den Grad der Winkelgeschwindigkeit darstellendes Ausgangssignal erzeugt.

Ein Herstellungsverfahren des derartig aufgebauten Halbleiterwinkelgeschwindigkeitssensors wird im folgenden unter Bezugnahme auf die Fig. 6 bis 10 beschrieben. Anzumerken ist, daß die Fig. 6 bis 10 jeweils eine Querschnittsansicht des Sensors in Fig. 4 entlang einer darin gezeigten Linie B-B darstellen.

Wie es in Fig. 6 gezeigt ist, wird als erstes ein Siliziumsubstrat 30 vorbereitet, welches ein p-Typ Siliziumsubstrat 31 und eine darauf ausgebildete n-Typ Epitaxialschicht 32 aufweist. Insbesondere wird ein Silizium-Wafer 30 vorbereitet, wie es in Fig. 11 gezeigt ist.

Dieser Silizium-Wafer 30 wird später sowohl mit mehreren Elementen zur Verwendung beim Aufbauen der Antriebsschaltung 24 und der Signalverarbeitungsschaltung 25 als auch mit den piezoelektrischen Elementen 14, 15, 19, 20 zusammen mit den dazugehörigen nötigen Aluminiumleitungsdrähten ausgebildet. Ein Maskenmaterial 33 wird auf der gesamten oberen Oberfläche des p-Typ Siliziumsubstrats 31 (erste Oberfläche 30a des Siliziumsubstrats 30) aufgebracht; dann wird, wie es in Fig. 7 gezeigt ist, eine Naßätzbehandlung unter Verwendung einer ausgewählten Ätzflüssigkeit, wie zum Beispiel KOH oder dazu Gleichwertiges, ausgeführt, was bewirkt, daß ausgewählte Teile des p-Typ Siliziumsubstrats 31 entfernt werden, wie es in Fig. 7 gezeigt ist. Diese Ätzbehandlung führt zu einer Ausbildung einer Vertiefungsstelle 34, während es einer dünnwandigen oder vermindert dicken aus der n-Typ Epitaxialschicht 32 bestehenden Stelle 35 erlaubt wird, an dem "Boden" einer derartigen Vertiefungsstelle 34 definiert zu werden, wenn sie verkehrt herum betrachtet wird. Insbesondere wird, wie es in Fig. 12 gezeigt ist, eine Anzahl von Vertiefungsstellen 34 in einer Oberflä-

che des Silizium-Wafers 30 an bestimmten Stellen zur Ausbildung einer Stelle 35 verminderter Dicke an dem Boden einer jeweiligen derartigen Vertiefungsstelle 34 ausgebildet.

Anzumerken ist hier, daß die Stelle 35 verminderter Dicke 35 für die Bearbeitung des Schwingungserzeugers bestimmt ist, wie in Fig. 1 gezeigt ist, wohingegen die restlichen Teile einer erhöhten Dicke des Wafers 30 als der rechteckige Rahmen 2 in Fig. 1 fungieren.

Wie es in Fig. 8 gezeigt ist, wird danach jede Vertiefungsstelle 34 mit einem thermisch härtbaren Silikonharz (Medium) 36 gefüllt, welches im natürlichen Zustand flexibel ist, da es noch nicht gehärtet ist. Insbesondere wird, wie es in Fig. 13 gezeigt ist, das thermisch härtbare Silikonharz 36 vor einem Härten in die einzelnen der Vielzahl von Vertiefungsstellen 34 des Silizium-Wafers 30 gefüllt. Wenn das Füllen ausgeführt ist, verhält sich das thermisch härtbare Silikonharz 36 vor dem Härten wie ein Fluid; dementsprechend kann es erfolgreich in den Vertiefungen 34 ohne irgendwelche Zwischenräume dazwischen eingebettet werden.

Als nächstes wird eine thermische Härtingsbehandlung durch Zuführen von Naßdampf zu dem thermisch härtbare Silikonharz 36 bei einer Temperatur von 100°C für 30 Minuten ausgeführt. Das sich ergebende, derartig ausgebildete Silikonharz 36 ist ein thermisch leitendes Material und zeigt einen gelartigen Zustand. Auf diese Weise wird das Silikonharz 36 (thermisch leitendes gelartiges Medium) derartig aufgebracht, daß es in Kontakt ist mit einer der Oberflächen einer jeden Stelle 35 verminderter Dicke, wie sie auf dem Siliziumsubstrat 30 ausgebildet worden sind, während es der verbleibenden gegenüberliegenden Oberfläche der Stelle 35 verminderter Dicke gestattet wird, als die Anfangsfläche eines später zu beschreibenden Trockenätzens zu fungieren.

Es sollte festgehalten werden, daß das hier verwendete Silikonharz alternativ ein Silikonharz mit einer Härterzugabe anstelle des zuvor erwähnten thermisch härtbaren Silikonharz sein kann; in diesem Fall wird ein ungehärteter flüssiger Harz in jede Vertiefung 34 gefüllt und anschließend durch Belassen bei Raumtemperatur für längere Zeit in einen Gelzustand gewandelt.

Danach wird, wie es in Fig. 9 gezeigt wird, das Siliziumsubstrat 30 auf der Plattform (Trägergrundfläche, genannt "Aufnehmer") mit dem Silikonharz 36 nach unten gerichtet angeordnet. Dann wird die n-Typ Epitaxialschicht 32 durch Photolithographie, wie beispielsweise reaktive Ionenätzung (RIE)-Techniken, in einer derartigen Weise geätzt, daß die Oberfläche der n-Typ Epitaxialschicht 32 (die Oberfläche 30b des Siliziumsubstrats 30) der erste Gegenstand der Ätzbearbeitung ist. Mit anderen Worten, es wird ein Trockenätzen (Flächenätzen wird ausgeführt) mit einem Maskenmaterial 38, das auf der Oberfläche der n-Typ Epitaxialschicht 32 angeordnet ist, ausgeführt. Aufgrund dieses Ätzens wird eine vorbestimmte Anzahl von Durchgangsöffnungen oder -löchern 39 ausgebildet, welche zur Definition der leeren Räume 4 in Fig. 1 dienen.

Während der Trockenätzbearbeitung werden die Durchgangslöcher 39 aufgrund von einem Ionenimpuls und/oder einer Reaktion von reaktiven Ionen oder Radikalen ausgebildet. Wenn dies geschehen ist, kann eine Wärme an solchen Stellen erzeugt werden, an denen die Durchgangslöcher 39 ausgebildet worden sind. Die sich ergebende Wärme wird durch das Silikonharz 36 absorbiert und abgeleitet, und wird zu der Seite einer Plattform (Trägergrundfläche) 37 abfließen, welche zum

Ausschließen eines Auftretens einer lokalen Temperaturerhöhung dient. Mit anderen Worten, das in den Vertiefungsstellen 34 eingebettete Silikonharz 36 wirkt als ein exzellenter Wärmeübergangspfad, welcher vorteilhaft zur Beschleunigung einer Wärmeabfuhr dienen kann, während bewirkt wird, daß die thermisch leitende Querschnittsfläche an Stellen einer Ausbildung der Stellen 35 verminderte Dicke in dem Siliziumsubstrat 30 gleich oder größer als die der verbleibenden Bereiche des Substrats 30 ist. Dementsprechend wird es möglich, eine unerwünschte Erhöhung der Seitenätzungsrate auszuschließen, ohne die Rate einer Reaktion zwischen den Radikalen und dem Siliziumsubstrat 30 erhöhen zu müssen, während gleichzeitig eine Deformation des Siliziumsubstrats 30 und der Stellen 35 verminderter Dicke aufgrund einer Anwendung von thermischen Streß vermieden wird, wobei dies nicht zu einem Auftreten einer Trockenpunktrauhheit (dry-spot roughness) und einem Überätzen an den Kanten der Ätzmaske führt. Weiterhin fährt sogar nach einer Beendigung der Ätzbearbeitung (Ausbildung der Durchgangslöcher 39) das Silikonharz 36 fort, als der Wärmeübergangspfad zu fungieren, der die lokale Temperaturerhöhung an den Bereichen einer Ausbildung der Stellen 35 verminderter Dicke unterdrückt oder verhindert. Dies macht es möglich, jede Verschlechterung in einer Flächenätzgenauigkeit auszuschließen.

Es sollte festgehalten werden, daß die Durchgangslöcher 39 eine Tiefe von ungefähr 100 µm aufweisen. Außerdem kann ein Zwischenraum, die sog. "Seiten-Ätzbreite" d, zwischen der Kante eines Maskenmaterials und der Kante jedes Durchgangslochs 39 wie folgt gegeben werden:

$$d/D < 10,$$

wobei D die Ätztiefe ist. Ebenso beträgt eine Temperaturerhöhung an der rückseitigen Oberfläche der Stelle 35 verminderter Dicke maximal 180°C. Wo ein Trockenätzen ohne ein in die Vertiefungsstellen 34 gefülltes Silikonharz ausgeführt worden ist, ist die gleiche Beziehung vergleichsweise gegeben als:

$$d/D \approx 2,$$

während die sich dabei ergebende Temperaturerhöhung an der rückseitigen Oberfläche der Stellen 35 verminderter Dicke in diesem Fall größer als ein Maximum von 250°C war.

Nach einer Ausbildung der Durchgangslöcher 39, wie sie in Fig. 10 gezeigt sind, wird dann das in jede der Vertiefungen 34 gefüllte Silikonharz 36 unter Verwendung eines ausgewählten Lösungsmittels entfernt. Danach ist der Silizium-Wafer 30 als nächstes Gegenstand einer Dicing-Bearbeitung, die ihn in mehrere Chips schneidet, wobei der Halbleiterwinkelgeschwindigkeitssensor in Fig. 1 vervollständigt wird.

Ein bedeutender Vorteil der dargestellten Ausführungsform ist die Fähigkeit eines Unterdrückens eines Anstiegs der Substrattemperatur, während gleichzeitig eine vergrößerte Wärmeübergangsfläche aufgrund des Vorhandenseins des Silikonharzes 36 aufrechterhalten wird. Insbesondere wird die Ätzrate in Bezug auf jeden Durchgangslochausbildungsbereich nicht konstant bleiben, wenn eine Flächenätzungsreaktion ihren Endpunkt erreicht, und kann sich in einigen Fällen ändern. Dies kann in Übereinstimmung mit Stellen eines vollständigen Ätzens (Durchdringung) und nichtgeätzten Stellen

zu einem sich daraus ergebenden Substrat führen, was wiederum bewirkt, daß sich lokal die Temperatur erhöht. Jedoch kann sogar in derartigen Fällen die durch das Silizium vorgesehene Wärmeübergangsfläche an bestimmten Stellen verringert werden, wo ein Ätzen vollständig ist (d. h., die Löcher vollständig durchdringend ist). Im Gegensatz dazu wird es bei dieser Ausführungsform aufgrund eines Vorhandenseins des Silikonharzes 36 möglich, eine genügende Fläche für einen Wärmeübergang aufrechtzuerhalten, welcher eine Ausschließung jeder unerwünschten lokalen Temperaturerhöhung des Substrats möglich macht.

Ein anderer Vorteil der Ausführungsform ist der, daß es, da das gelartige Medium verwendet wird, nicht länger vorkommt, daß ein derartiges Medium in das Innere der Ätzkammer eindringt oder sie "besetzt", wenn eine Durchdringung der Durchgangslöcher in dem Substrat vervollständigt ist. Insbesondere wird das als das Medium verwendete Silikonharz 36 genau in einer derartigen Weise aufgebracht, daß als ein Ergebnis eines nichtgehärteten flüssigen Mediums 36, das in jede Vertiefung 34 gefüllt und dann gehärtet wird, das Harz 36 in einen engen Kontakt mit einer Oberfläche der Stelle 35 verminderter Dicke gebracht wird. Dementsprechend macht dies es möglich, die Innenseite der Vertiefungen des Siliziumsubstrats nahezu vollkommen mit Silikonharz 36 zu füllen, wodurch eine Verbesserung der Kühlwirksamkeit ermöglicht wird. Insbesondere wird es bei dem mehrere Vertiefungen 34 aufweisenden Silizium-Wafer 30, wie er in Fig. 12 gezeigt ist, möglich, das Medium 36 im wesentlichen vollständig, ohne Zwischenräume in eine jede Vertiefung 34 zu füllen.

Ein weiterer Vorteil der Ausführungsform besteht darin, daß jeder ungünstige Einfluß auf das Siliziumsubstrat 30 aufgrund von thermischen Streß unterdrückt oder vermieden werden kann. Dies kann behauptet werden, da als Medium, das in die Vertiefungen 34 zu füllen ist, speziell ein Silikonharz verwendet wird, und dessen inhärente Natur der Flexibilität zum Ausschließen oder zumindest zum starken Reduzieren eines Einflusses von thermischen Streß auf das Siliziumsubstrat 30 dient.

Nachstehend wird eine zweiten Ausführungsform der Erfindung erklärt, welche ähnlich zu der obigen ersten Ausführungsform ist, mit Ausnahme von einigen Punkten, die nachfolgend dargelegt werden.

Die Fig. 14 und 15 sind Diagramme, die in einer Querschnittsansicht einige der Hauptschritte dieser Ausführungsform zeigen.

Zuerst wird ein Siliziumsubstrat (Wafer) 30 vorbereitet, wie es bereits in den Fig. 6 und 7 gezeigt ist, welcher ein p-Typ Siliziumsubstrat 31 und eine darauf ausgebildete n-Typ Epitaxialschicht 32 aufweist. Dann wird jede Vertiefung 24 auf dem Wafer 30 ausgebildet, um eine Bodenoberfläche aufzuweisen, an welcher eine Stelle 35 verminderter Dicke ausgebildet wird, welche aus der n-Typ Epitaxialschicht 32 besteht.

Weiter wird, wie es in Fig. 14 gezeigt ist, eine Wanne 40 vorbereitet, welche ein auf Fluor basierendes Polymeröl 41 enthält. Diese Wanne 40 wird in das Innere einer Ätzkammer (nicht gezeigt) gestellt. Das Polymeröl 41 ist ein thermisch leitendes Material und bleibt bei niedrigen Dampfdrücken ein Fluid. Dann wird das Siliziumsubstrat 30 in das Polymeröl 41 gestellt. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich die untere Oberfläche der Stelle 35 verminderter Dicke in dem Öl 41, während verhindert wird, daß ihre obere Oberfläche in das Öl 41 eingetaucht wird. Auf diese Art wird das in das Öl 41 gestellte Siliziumsubstrat 30 vor der Trockenätzbearbeitung in

das Innere der Ätzkammer gestellt.

Es kann alternativ derartig angeordnet werden, daß nach einem Stellen des Siliziumsubstrats 30 in das auf Fluor basierende Polymeröl 41 eine Vakuumbehandlung zum Verringern von Gaseinschlüssen in dem Öl in der Vertiefung 34 des Siliziumsubstrats 30 ausgeführt wird. Mit einer derartigen Vakuumbehandlung ist es möglich, durch Verringern von derartigen Gaseinschlüssen — welche an der inneren Wand der Oberflächen der Vertiefung 34 erscheinen können — ein Verminderung der Kühlwirksamkeit, die ansonsten aufgrund eines Vorhandenseins von Gaseinschlüssen während des Ätzens auftritt, zu unterdrücken oder auszuschließen.

Danach wird, wie es in Fig. 15 gezeigt ist, die n-Typ Epitaxialschicht 32 unter Verwendung einer photolithographischen Technik, wie zum Beispiel der RIE-Technik, geätzt, wobei die Oberfläche der n-Typ Epitaxialschicht 32 (zweite Oberfläche 30b des Siliziumsubstrats 30) der erste Gegenstand in einer derartigen RIE-Ätzbehandlung ist. Genauer gesagt wird ein Trockenätzen (zum Bewirken eines Flächenätzens) mit einem Maskenmaterial 38 ausgeführt, das auf der Oberfläche der n-Typ Epitaxialschicht 32 angeordnet ist. Dieses Ätzen führt zu einer Ausbildung von Durchgangslöchern 39, welche dem leeren Raum 4 in Fig. 1 entsprechen.

Anschließend wird das Siliziumsubstrat 30 aus dem auf Fluor basierenden Polymeröl 41 genommen und zur Entfernung jeglicher Ölverunreinigungen gereinigt.

Wie die erste Ausführungsform, weist auch die zweite Ausführungsform das Verhältnis von einer Seiten-Ätzbreite (d) zu einer Ätztiefe (D) auf, die dargestellt wird durch:

$$d/D < 10,$$

während eine sich ergebende Temperaturerhöhung auf der rückseitigen Oberfläche P1 der Stelle 35 verminderter Dicke während des Ätzens ein Maximum von 180°C hat.

Da in dieser Ausführungsform das Füllmaterial aus dem auf Fluor basierenden Polymeröl 41 besteht, welches eines der Niedrigdampfdruck-Fluide ist, verdampft es kaum bei Anwendung von Wärme während des Ätzens, wodurch ein Aufrechterhalten der gewünschten Ätzbedingungen ermöglicht wird.

Es kann hierbei anstelle des auf Fluor basierenden Polymeröls 41 auch ein auf Silizium basierendes Polymeröl oder dazu Gleichwertiges verwendet werden, die als ein aus einem thermisch leitenden Material bestehendes ölarartiges Medium fungieren. Nachstehend wird eine Erklärung einer dritten Ausführungsform der Erfindung gegeben, welche ähnlich zu der ersten Ausführungsform sein kann, mit Ausnahme der folgenden Punkte.

Die Fig. 16 und 17 zeigen in einer Querschnittsansicht einige der Hauptschritte dieser Ausführungsform.

Zuerst wird ein Siliziumsubstrat (Wafer) 30 vorbereitet, wie es bereits in den Fig. 6 und 7 gezeigt ist, welcher ein p-Typ Siliziumsubstrat 31 und eine darauf ausgebildete n-Typ Epitaxialschicht 32 aufweist. Dann wird jede Vertiefung 34 auf dem Wafer 30 ausgebildet, um eine Bodenoberfläche aufzuweisen, an welcher eine Stelle 35 verminderter Dicke ausgebildet wird, welche aus der n-Typ Epitaxialschicht 32 besteht.

Wie es in Fig. 16 gezeigt ist, wird dann ein Dünnschicht 50 (der aus einem Material gebildet wird, wie beispielsweise Cr, Si, O₂, Al, Ti oder dergleichen, welches nur

schwer durch ein Silizium-Ätzmittel geätzt wird) auf einer ersten Oberfläche 30a des Siliziumsubstrats 30, d. h. der Innenwandoberfläche der Vertiefung 34 ausgebildet (z. B. kann dies durch Bedampfung geschehen). Der sich ergebende Dünnsfilm 50 bedeckt die gesamte Oberfläche 30 des Siliziumsubstrats 30. Der Dünnsfilm 50 sperrt bzw. verhindert eine Durchdringung von Gas und stellt sicher, daß eine Undurchlässigkeit während der Ätzbearbeitung des Siliziumsubstrats 30 aufrechterhalten wird. Auf diese Weise wird der Dünnsfilm 50 auf einer Oberfläche der Stelle 35 verminderter Dicke, wie sie auf dem Siliziumsubstrat 30 ausgebildet ist, ausgebildet; diese Dünnfilmbildungsfläche an der Stelle einer reduzierten Dicke 35 wird als die später zu beschreibende Gasversorgungsfläche (gas feed plane) dienen.

Als nächstes wird, wie es in der Fig. 17 gezeigt ist, eine Grundfläche S1 vorbereitet, welche einen Gaseinlaßanschluß 52 und einen Gasauslaßanschluß 53 aufweist. Diese Grundfläche 51 ist derartig angeordnet, daß sie innerhalb der Ätzkammer (nicht gezeigt) angeordnet werden kann. Außerdem ist das Siliziumsubstrat 30 auf der Grundfläche 51 mit dem Dünnsfilm 50 nach unten gerichtet angeordnet. Auf diese Weise wird das Siliziumsubstrat 30 mit dem darauf ausgebildeten Dünnsfilm 50 vor einer Ausführung einer Ätzbehandlung in die Ätzkammer gestellt.

Anschließend wird ein Kühlmittel oder Kühlmittelgas 54 durch den Gaseinlaßanschluß 52 in die Vertiefung 34 eingebracht, während es dem Kühlmittelgas gestattet wird, über den Gasauslaßanschluß 53 nach außen auszutreten. Das hier verwendete Kühlmittelgas kann ein Inertgas, wie beispielsweise Helium oder dergleichen, sein. Unter dieser Bedingung wird die n-Typ Epitaxialschicht 32 durch eine photolithographische Technik, wie beispielsweise die RIE-Technik, geätzt, wobei die Oberfläche der Epitaxialschicht 32 (zweite Oberfläche 30b des Siliziumsubstrats 30) erster Gegenstand der RIE-Ätzbehandlung ist. Mit anderen Worten, es wird ein Trockenätzen (zur Erzielen eines Flächenätzens) mit einem auf der Oberfläche der Schicht 32 angeordneten Maskenmaterial 38 ausgeführt.

Aufgrund der Trockenätzbearbeitung werden die Durchgangslöcher 39, welche dem leeren Raum 4 in Fig. 1 entsprechen, durch einen Ionenimpuls oder durch eine Reaktion von reaktiven Ionen oder Radikalen ausgebildet. Während Wärme an solchen Stellen, wo die Durchgangslöcher 39 ausgebildet worden sind, erzeugt werden kann, wird eine derartige Wärme extern von der rückseitigen Oberfläche des Siliziumsubstrats 30 freigesetzt, da das Kühlmittelgas 54 dem Inneren der Vertiefung 34 zugeführt wird, wodurch ein Auftreten einer lokalen Temperaturerhöhung vermieden wird. Als Konsequenz daraus wird die Reaktionsrate des Siliziumsubstrats gegenüber Radikalen oder dergleichen nicht ansteigen, während gleichzeitig ein Anstieg in der Seitenätzungsrate ebenso wie in der Deformation des Siliziumsubstrats und der Stelle 35 verminderter Dicke aufgrund des Anliegens von thermischem Streß ausgeschlossen wird, ohne daß es zu einem Auftreten einer Trockenpunktrauhheit und von Überätzen an den Kanten der Ätzmaske kommt. Daher ist es möglich, im vorhinein eine Verminderung oder Verschlechterung der Flächenätzungsgenauigkeit zu verhindern. Überdies dient der Dünnsfilm 50 vorteilhaft als eine Trennwand oder "Barriere", welche dem Inneren der Vertiefung 34 einen versiegelten Zustand ermöglicht. Gleichzeitig wird ein solcher, durch den Dünnsfilm 50 hergestellter,

versiegelter Zustand niemals zerstört, wenn oder nachdem die Durchgangslöcher 39 die rückseitige Oberfläche der Stelle 35 verminderter Dicke erreichen.

Danach wird das Siliziumsubstrat 30 zum Entfernen des Dünnsfilms 50 durch Naßätzen herausgenommen.

Wie die erste Ausführungsform weist auch die zweite Ausführungsform das Verhältnis von Seiten-Ätzbreite (d) zu Ätztiefe (D) auf, das dargestellt wird durch:

$$d/D < 10,$$

während ein sich daraus ergebender Temperaturanstieg auf der rückseitigen Oberfläche P1 der Stelle einer reduzierten Dicke 35 während eines Ätzens maximal 180°C war.

Diese Ausführungsform weist einen Vorteil auf, der nachfolgend erklärt wird. Ein ledigliches Zuführen eines Kühlmittelgases, wie beispielsweise Helium, in das Innere der Vertiefung 34 von der Seite der ersten Oberfläche 30a des Siliziumsubstrats 30, ohne Verwendung des Dünnsfilms 50, kann bewirken, daß das Kühlmittelgas in die vordere Seite (Inneres der Kammer) durch die bei Beendigung der Ätzbehandlung vervollständigten Durchgangslöcher 39 fließt, was zu einer Störung von atmosphärischen Bedingungen des Ätzens führt. Im Gegensatz dazu kann bei dieser Ausführungsform die Verwendung des Dünnsfilms 50 die erfolgreiche Ausführung eines Trockenätzens erlauben, ohne das Kühlmittelgas in die Vorderseite durch einen Weg der sich ergebenden Durchgangslöcher 39 einfließen lassen zu müssen. Dementsprechend wird es, nach einer Vervollständigung derartiger, das Substrat vollständig durchdringender Durchgangslöcher, möglich, zu verhindern, daß das Medium in das Innere der Ätzkammer eintritt oder sie "besetzt".

Ein anderer Vorteil besteht darin, daß die Kühlwirksamkeit aufgrund der Tatsache verbessert werden kann, daß das Kühlmittelgas 54 durch den Dünnsfilm 50 zugeführt wird, wenn er mit dem Siliziumsubstrat 30 kontaktiert ist.

Während ein gasförmiges Material als Kühlmittel verwendet wird, kann in der oben erwähnten dritten Ausführungsform es alternativ durch ein Fluid (wie beispielsweise reines Wasser, leicht störrstellendotiertes Siliziumöl oder leicht dotiertes auf Fluor basierendes Öl) ersetzt werden.

Die vorliegende Erfindung kann zum Betreiben in einer anderen Art und Weise als die in den zuvor erwähnten Ausführungsformen verändert werden.

Obwohl die voranstehende Beschreibung die Verwendung eines Siliziumsubstrats als Halbleitersubstrat vorschlägt, können alternativ andere Arten von Substraten, wie beispielsweise ein GaAs-Substrat oder dergleichen, benutzt werden.

Weiter können die Vertiefungen 34 anstatt durch Trockenätztechniken durch Naßätztechniken ausgebildet werden.

Weiterhin wird RIE als das Trockenätzverfahren zur Ausbildung der Durchgangslöcher 39 verwendet. Es können jedoch dafür RIEB oder dergleichen alternativ verwendet werden.

Weiterhin ist die voranstehende Erklärung auf einen bestimmten Fall gerichtet, bei dem ein vorgeschriebener Bereich des Siliziumsubstrats 30, der sich von seiner ersten Oberfläche 30a ausdehnt, ein erster Gegenstand eines die Vertiefung 34 bildenden Ätzbehandlung ist, wodurch die Stelle 35 verminderter Dicke an dem Boden einer jeden Vertiefung 34 definiert wird. Jedoch ist

die vorliegende Erfindung nicht ausschließlich darauf begrenzt. Zum Beispiel ist es möglich, das Halbleitersubstrat mit Stellen verminderter Dicke an ausgewählten Stellen durch eine Schichtung eines ersten Siliziumsubstrats, das Durchgangslöcher aufweist, und eines zweiten Siliziumsubstrats ohne Durchgangslöcher zu erzielen.

Weiterhin können die Grundlagen der Erfindung ebenso auf irgendeine andere Art von elektronischer Vorrichtung als die des zuvor erwähnten Winkelgeschwindigkeitssensors angewandt werden. Kurz gesagt, die vorliegende Erfindung ist zur Verwendung bei einer Herstellung von Beschleunigungs-/Winkelgeschwindigkeitssensoren oder dazu gleichwertigem, welche einen freitragenden Träger oder einen beidseitig unterstützten Balkenaufbau durch eine Herstellung eines Siliziumsubstrats oder GaAs-Substrats ausbildet, änderbar.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß es sich bei der vorliegenden Erfindung um ein Herstellungsverfahren für Halbleitervorrichtungen handelt, das instand ist, in Mikroelektronikvorrichtungen, wie beispielsweise Winkelgeschwindigkeitssensoren, verwendet zu werden. Es beinhaltet die Schritte eines Vorbereitens eines Silizium-Wafers, der eine Schichtung eines p-Typ Siliziumsubstrats und einer darauf ausgebildeten n-Typ Epitaxialschicht aufweist, eines Definierens einer Mehrzahl von Vertiefungsstellen auf einer bestimmten Oberfläche des Wafers, wobei jede eine Stelle verminderter Dicke an der gegenüberliegenden Oberflächenseite aufweist, welche aus der Epitaxialschicht besteht, eines Ausbilden von mehreren Durchgangslöchern in jeder Stelle verminderter Dicke durch ein Bewirken, daß ein aus einem thermisch leitenden Material bestehendes gel- oder öltartiges Kühlmittelmedium in Kontakt mit einer Oberfläche der Stelle verminderter Dicke des Siliziumsubstrats angeordnet wird und durch ein Ausführen eines Trockenätzens eines bestimmten Bereichs von der anderen Oberfläche der Stelle verminderter Dicke, und danach eines Entfernens des Mediums. Dieses Medium dient zum Absorbieren und Ableiten von einer an der Stelle verminderter Dicke während des Trockenätzens erzeugten Wärme.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung, das folgende Schritte aufweist:
Ausbilden einer Durchgangsöffnung (39), die sich durch eine Stelle (35) verminderter Dicke in einem Halbleitersubstrat (30) erstreckt, mittels Trocken-
ätzens eines bestimmten Bereichs von einer Oberfläche (30b) der Stelle (35) verminderter Dicke des Halbleitersubstrats (30) her in einem Zustand, bei dem ein aus einem thermisch leitenden Material bestehendes gelartiges Medium (36) in Kontakt mit einer gegenüberliegenden Oberfläche der Stelle (35) verminderter Dicke angeordnet ist; und Entfernen des gelartigen Mediums (36).
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das gelartige Medium (36) derartig angeordnet ist, daß das gelartige Medium (36) gehärtet wird, während bewirkt wird, daß ein flüssiges Medium vor dem Aushärten in Kontakt mit der einen Oberfläche (30a) der Stelle (35) verminderter Dicke ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Trockenätzen ein reaktives Ionenätzen beinhaltet.
4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das gelartige Medium (36) ein Silikonharz beinhaltet.

5. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung, das folgende Schritte aufweist:

Ausbilden einer Durchgangsöffnung (39), die sich durch eine Stelle (35) verminderter Dicke in einem Halbleitersubstrat (30) erstreckt, mittels Trocken-
ätzens eines bestimmten Bereichs von einer Oberfläche (30b) der Stelle (35) verminderter Dicke des Halbleitersubstrats (30) her in einem Zustand, bei dem ein aus einem thermisch leitenden Material bestehendes öltartiges Medium (36) in Kontakt mit einer gegenüberliegenden Oberfläche der Stelle (35) verminderter Dicke angeordnet ist; und Entfernen des öltartigen Mediums (41).

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Trockenätzen ein reaktives Ionenätzen beinhaltet.

7. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das öltartige Medium (41) ein Fluid eines niedrigen Dampfdrucks beinhaltet.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem das Fluid eines niedrigen Dampfdrucks ein aus auf Fluor basierendes Polymeröl oder auf Silizium basierendes Polymeröl beinhaltet.

9. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung, das folgende Schritte aufweist:

Ausbilden einer Stelle (35) verminderter Dicke durch Ätzen eines bestimmten Bereichs von einer ersten Oberfläche (30a) eines Halbleitersubstrats (30) her, um eine Vertiefungsstelle (34) zu schaffen, die einen Boden zur Ausbildung der Stelle (35) verminderter Dicke aufweist;

Ausbilden eines Durchgangslochs (39), das sich durch die Stelle (35) verminderter Dicke erstreckt, durch Trockenätzen eines bestimmten Bereichs an der Stelle (35) verminderter Dicke von einer zweiten Oberfläche (30b) des Halbleitersubstrats (30) her, während bewirkt wird, daß ein aus einem thermisch leitenden Material bestehendes gelartiges Medium (36) in die Vertiefungsstelle (34) gefüllt wird; und

Entfernen des gelartigen Mediums (36).

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem das Trockenätzen ein reaktives Ionenätzen beinhaltet.

11. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem das gelartige Medium (36) dadurch aufgebracht wird, daß das gelartige Mediums (36) ausgehärtet wird, während ein flüssiges Medium vor der Aushärtung in die Vertiefungsstelle (34) eingefüllt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem das gelartige Medium (36) ein Silikonharz beinhaltet.

13. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung, das folgende Schritte aufweist:

Ausbilden einer Stelle (35) verminderter Dicke durch Ätzen eines bestimmten Bereichs von einer ersten Oberfläche (30a) eines Halbleitersubstrats (30) her, um eine Vertiefungsstelle (34) zu schaffen, die einen Boden zur Ausbildung der Stelle (35) verminderter Dicke aufweist;

Ausbilden eines Durchgangslochs (39), das sich durch die Stelle (35) verminderter Dicke erstreckt, durch Trockenätzen eines bestimmten Bereichs an der Stelle (35) verminderter Dicke von einer zweiten Oberfläche (30b) des Halbleitersubstrats (30) her, während bewirkt wird, daß ein aus einem thermisch leitenden Material bestehendes öltartiges Medium (36) in die Vertiefungsstelle (34) gefüllt wird; und

Entfernen des öltartigen Mediums (41).

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das Trocken-

kenätzen ein reaktives Ionenätzen beinhaltet.

15. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das ölartige Medium (41) ein Fluid eines niedrigen Dampfdrucks beinhaltet.

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem das Fluid eines niedrigen Dampfdrucks ein auf Silizium basierendes Polymeröl beinhaltet.

17. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung, das folgende Schritte aufweist:

Ausbilden einer Stelle (35) verminderter Dicke in einem Halbleitersubstrat (30);

Ausbilden eines Trennfilms (50) auf einer Oberfläche (30a) der Stelle (35) verminderter Dicke in dem Halbleitersubstrat (30);

Ausbilden eines Durchgangslochs (39), das sich durch die Stelle (35) verminderter Dicke erstreckt, durch Trockenätzen eines bestimmten Bereichs an der Stelle (35) verminderter Dicke, während es einem Kühlmittelfluid (54) gestattet wird, auf dem Trennfilm, der eine Oberfläche an der Stelle (35) verminderter Dicke ausbildet, aufgebracht zu werden; und

Entfernen des Trennfilms (50).

18. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem das Trockenätzen ein reaktives Ionenätzen beinhaltet.

19. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem das Kühlmittelfluid (54) ein gasförmiges Kühlmittel beinhaltet.

20. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem das Kühlmittelfluid (54) ein Inertgas beinhaltet.

21. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem das Kühlmittelfluid (54) eine Flüssigkeit ist.

22. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung, das folgende Schritte aufweist:

Ausbilden einer Stelle (35) verminderter Dicke auf einem Boden einer Vertiefung (34) durch Ätzen eines bestimmten Bereichs von einer ersten Oberfläche (30a) eines Halbleitersubstrats (30) her;

Ausbilden eines Trennfilms (50) auf einer Innenwand der Vertiefung (34), der als Trennwand fungiert;

Ausbilden eines sich durch die Stelle (35) verminderter Dicke erstreckenden Durchgangslochs (39) durch Trockenätzen eines bestimmten Bereichs von einer zweiten Oberfläche (30a) an der Stelle (35) verminderter Dicke her, während eine ununterbrochene Zufuhr eines Kühlmittelfluids (54) zu dem Inneren der Vertiefung (34) gestattet wird; und Entfernen des Trennfilms (50).

23. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem das Trockenätzen ein reaktives Ionenätzen beinhaltet.

24. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem das Kühlmittelfluid (54) ein gasförmiges Kühlmittel beinhaltet.

25. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem das Kühlmittelfluid (54) ein Inertgas beinhaltet.

26. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem das Kühlmittelfluid (54) eine Flüssigkeit ist.

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

60

65

- Leerseite -

FIG. 16

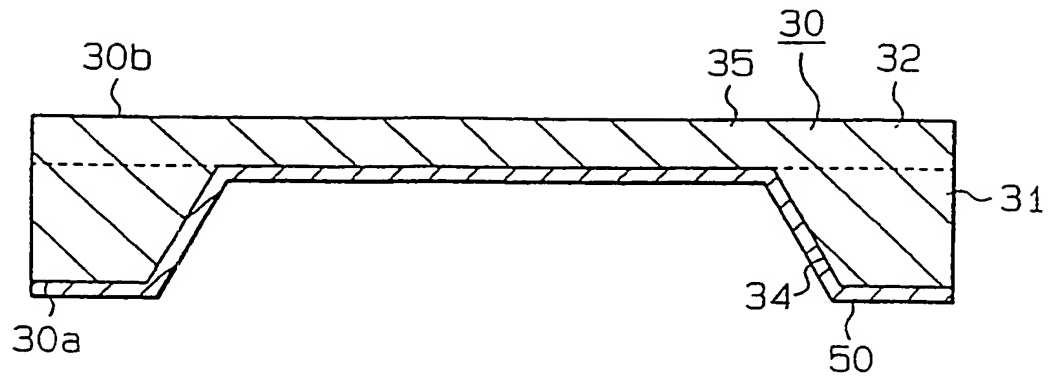


FIG. 17

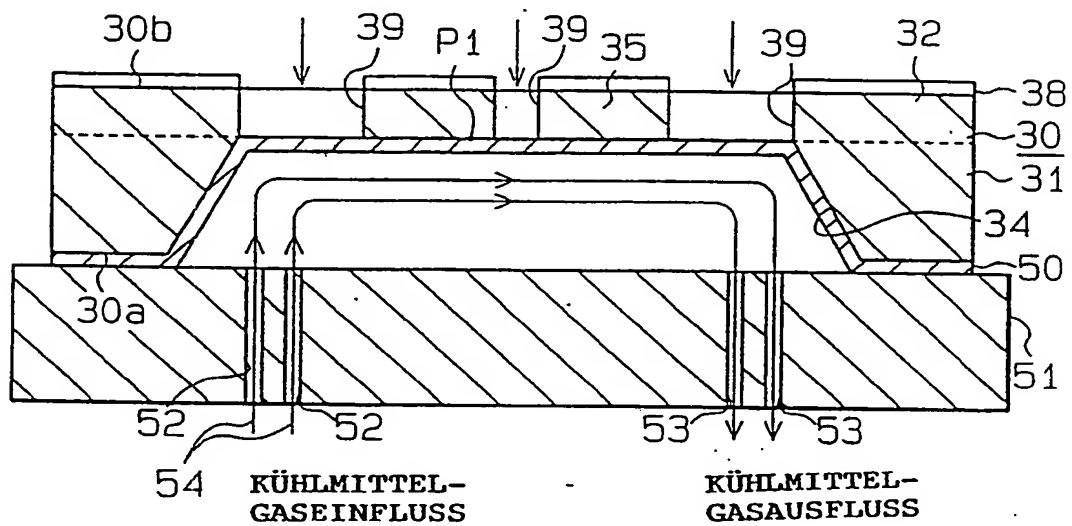


FIG. 18

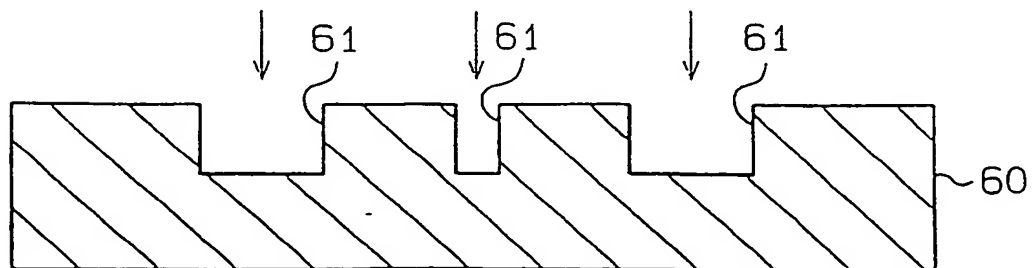


FIG. 1

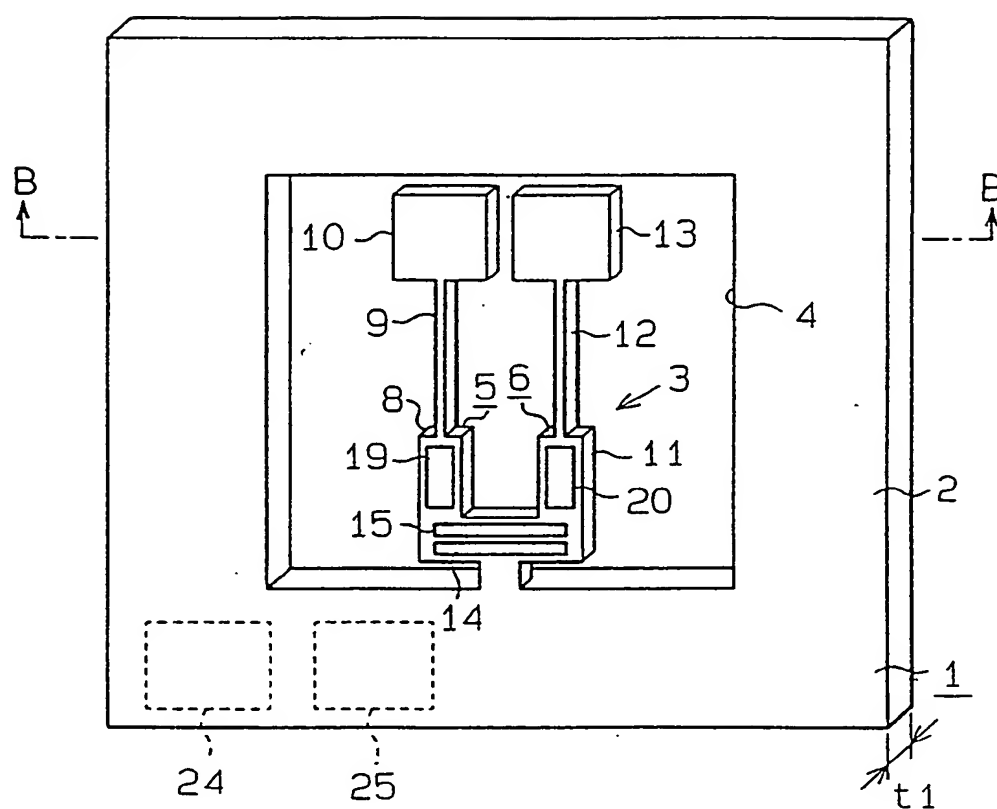


FIG. 2

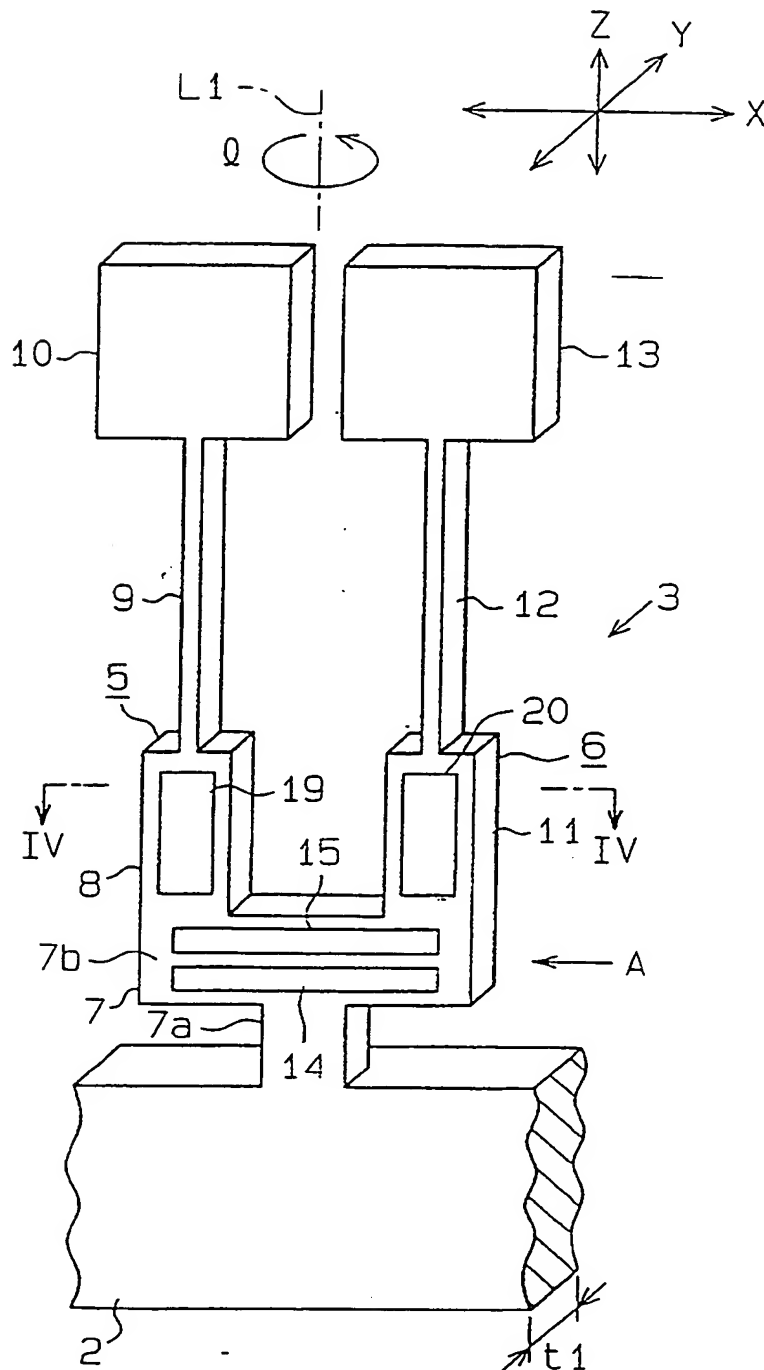


FIG. 3

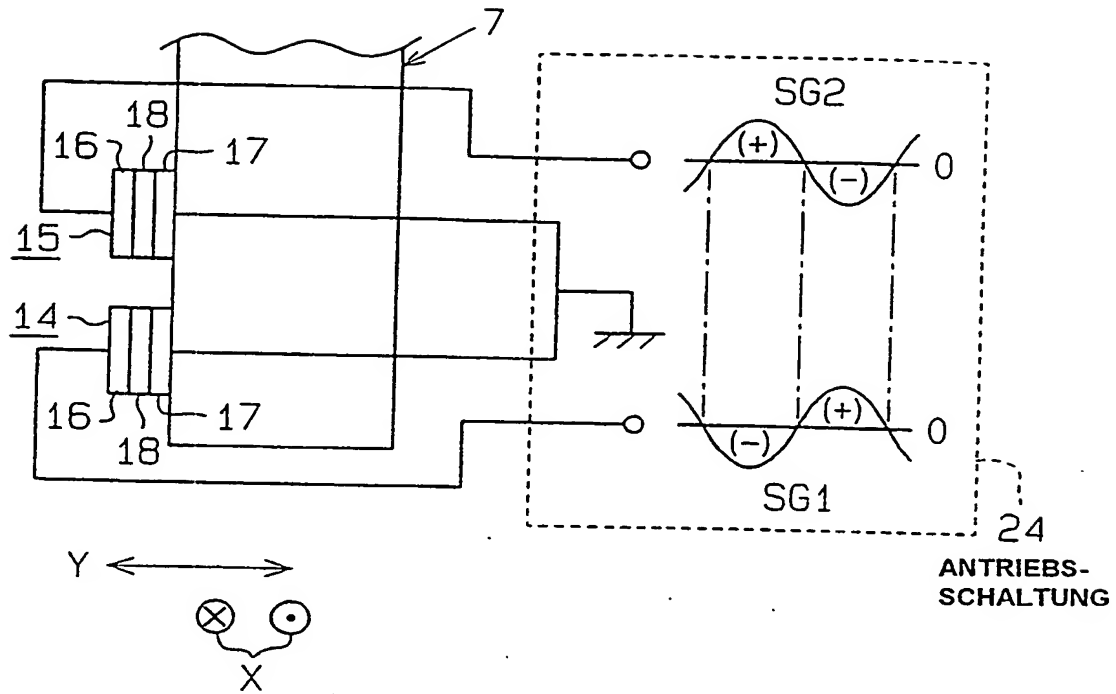


FIG. 4

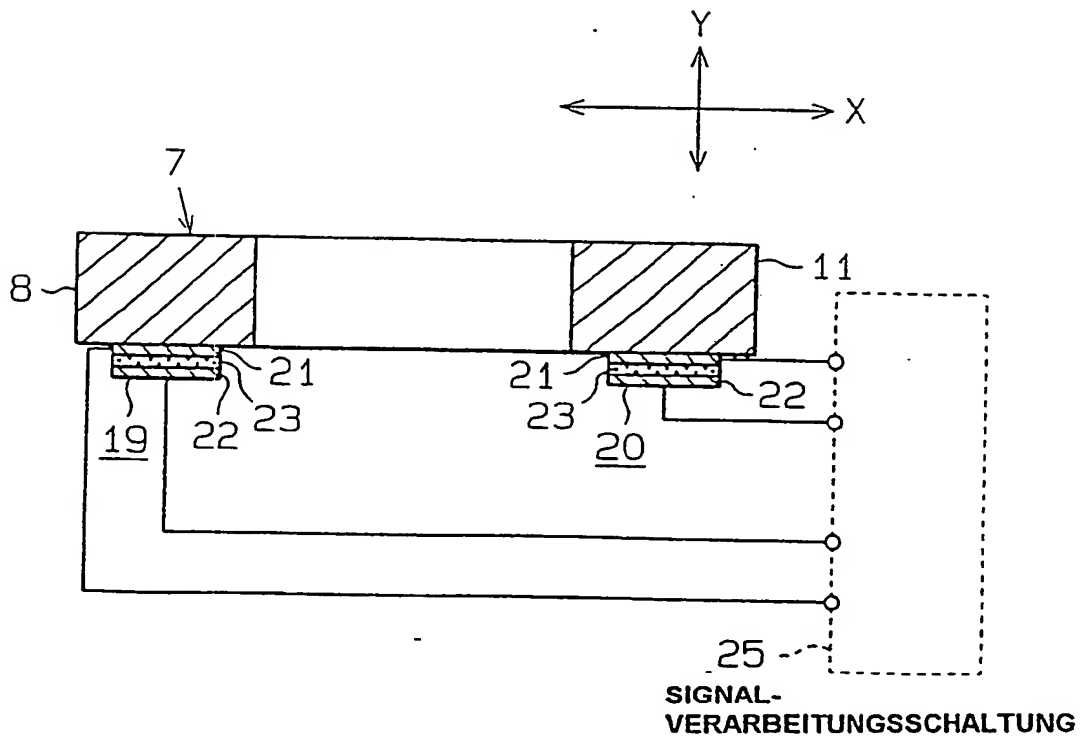


FIG. 5A

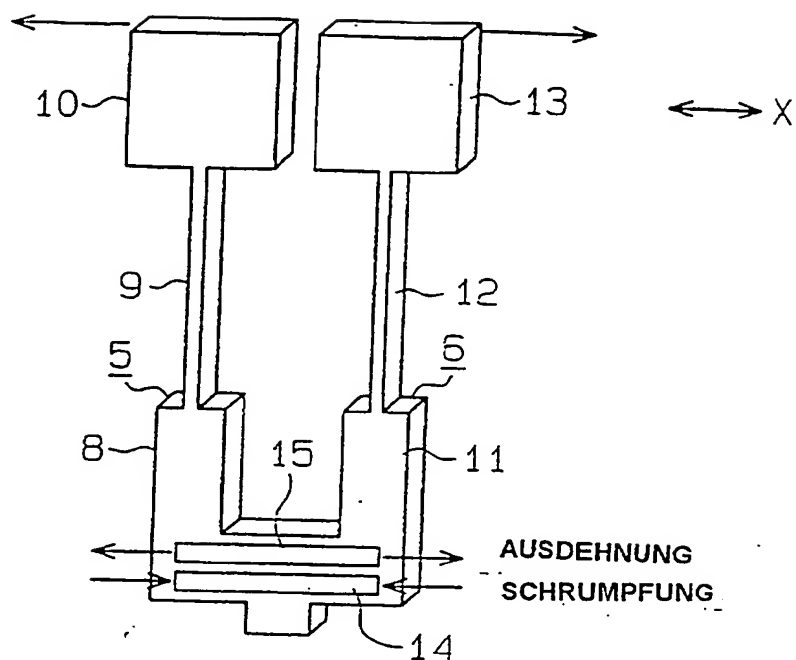


FIG. 5B

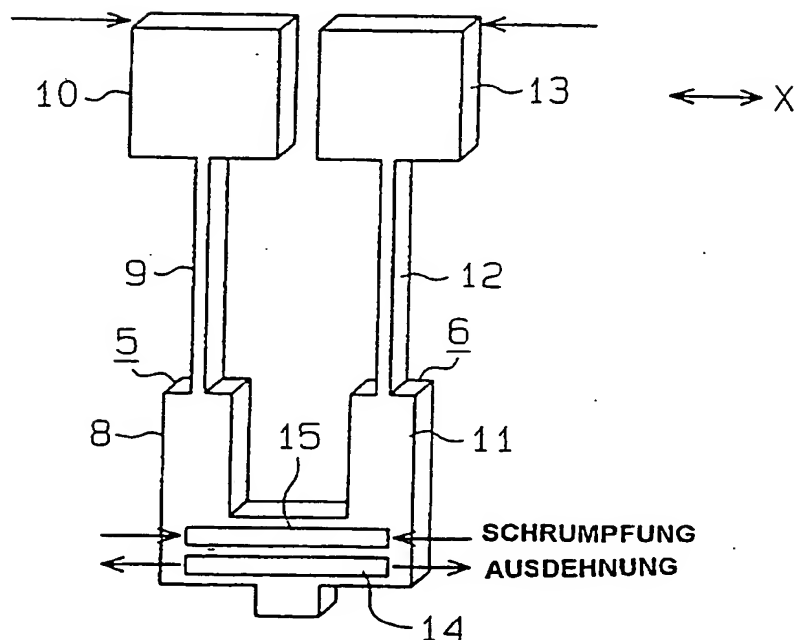


FIG. 6

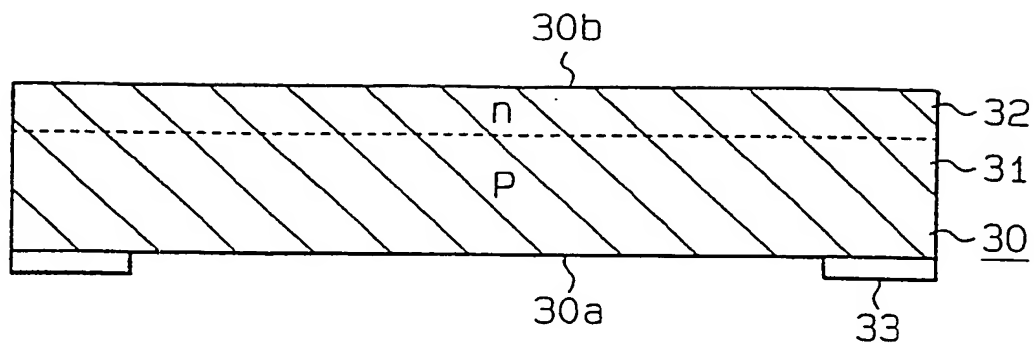


FIG. 7

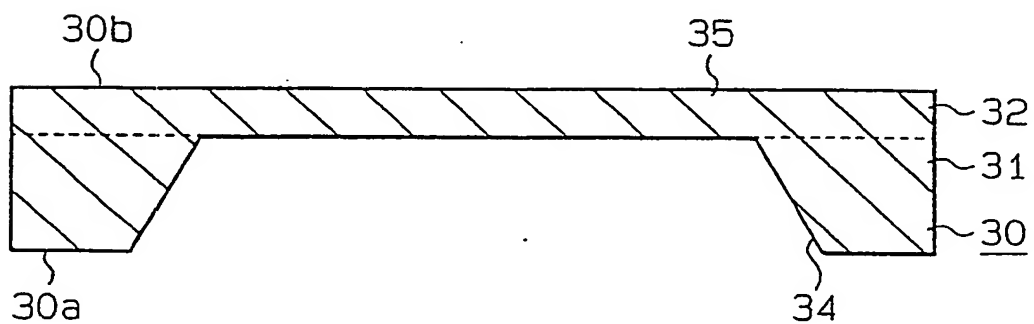


FIG. 8

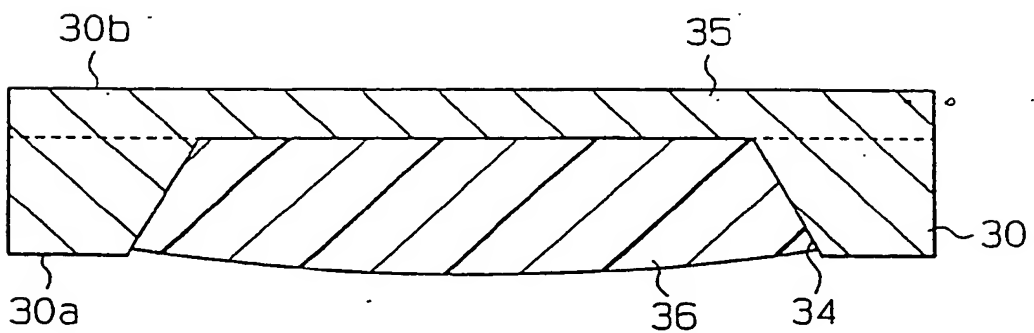


FIG. 9

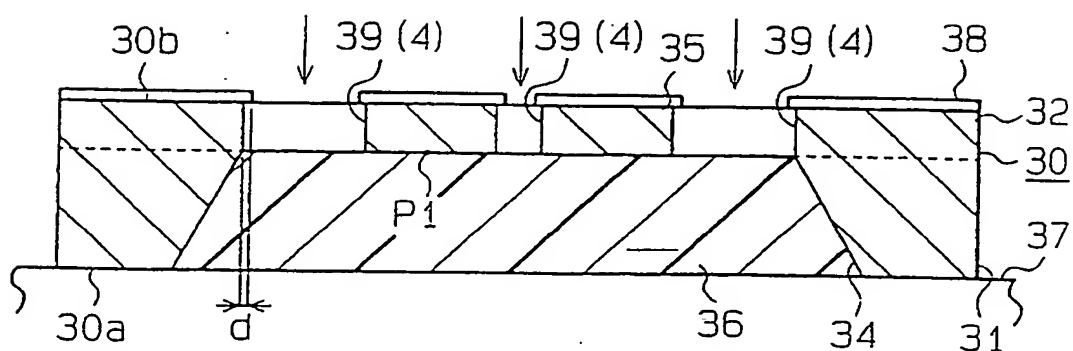


FIG. 10

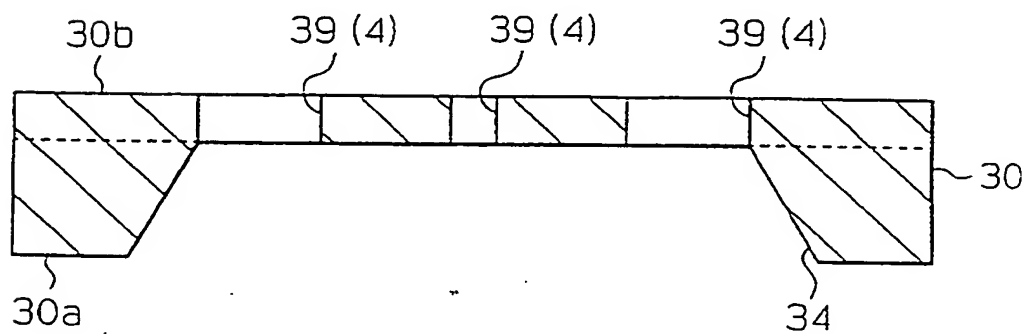


FIG. 11

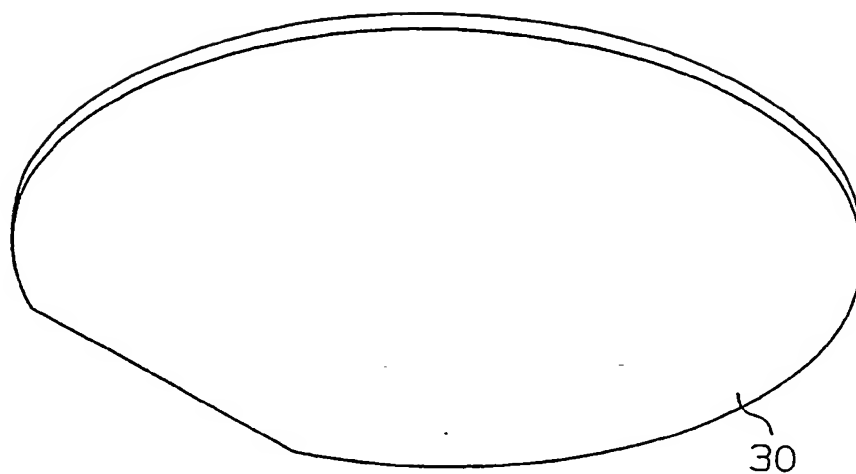


FIG. 12

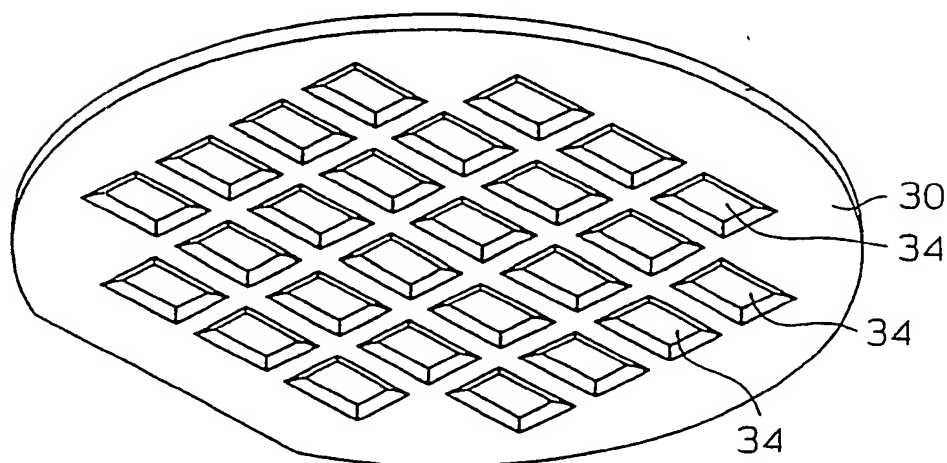


FIG. 13

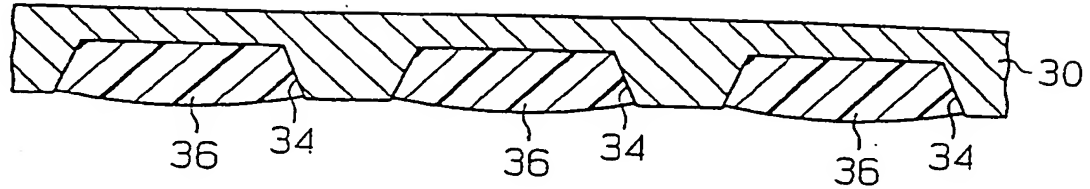


FIG. 14

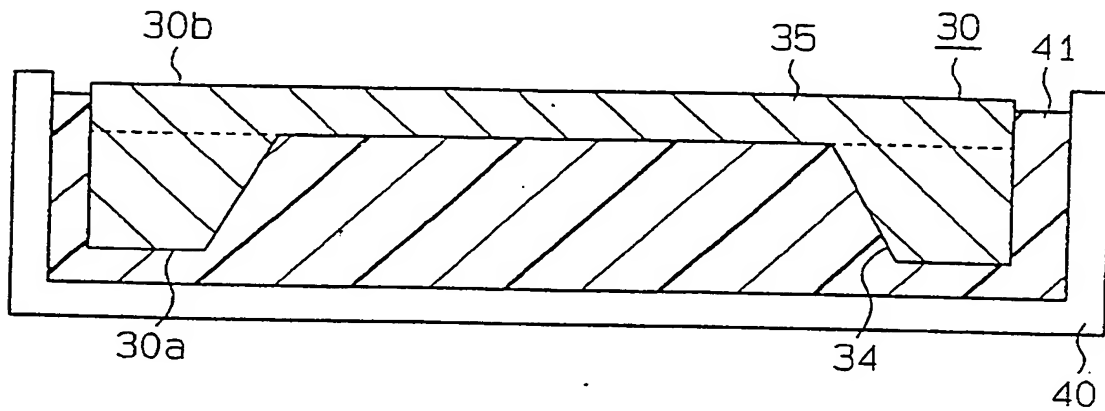


FIG. 15

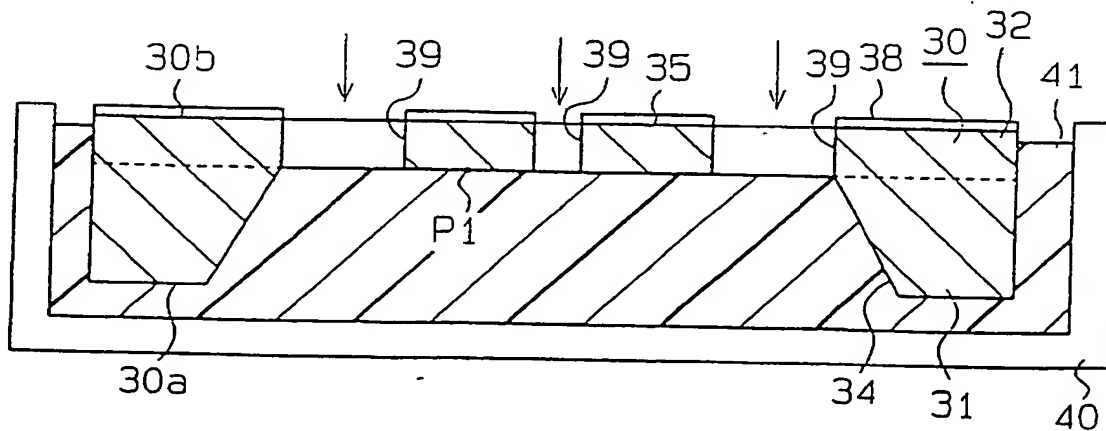


FIG. 19

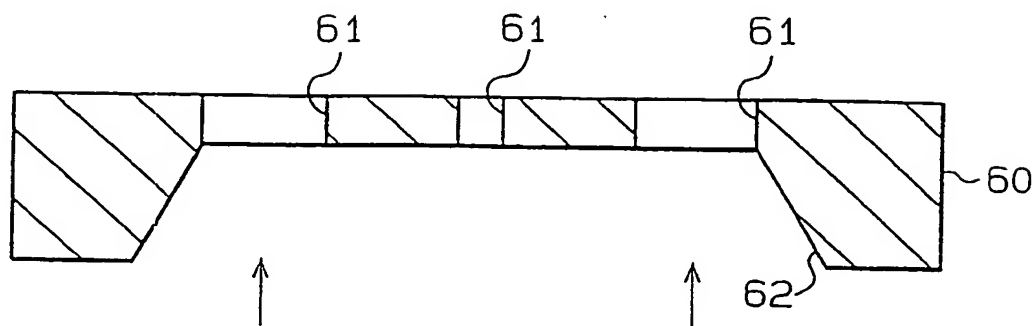


FIG. 20

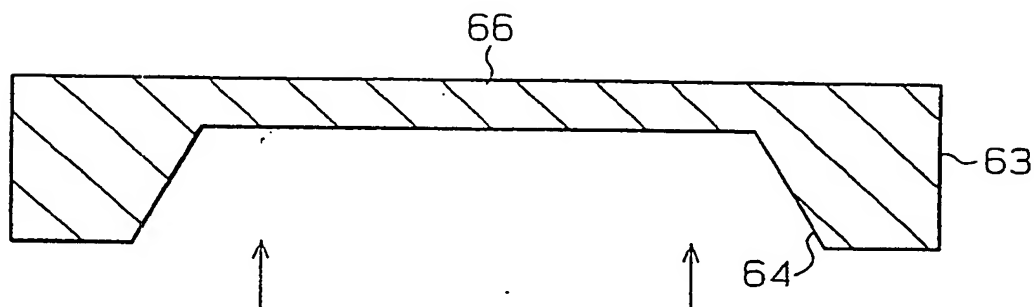


FIG. 21

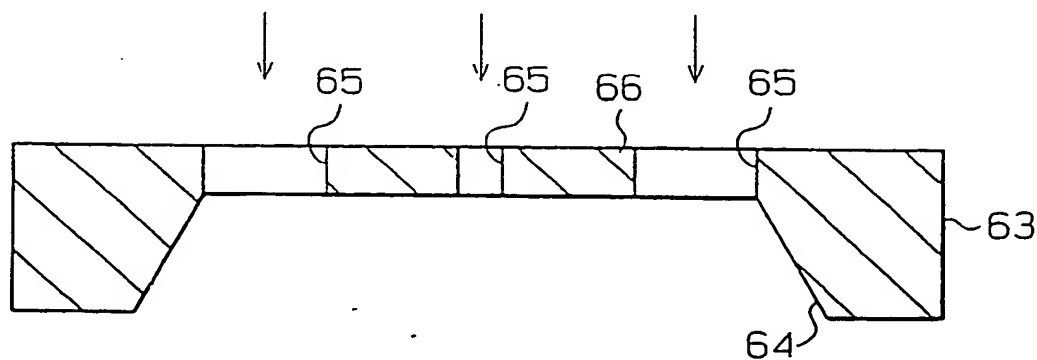


FIG. 22

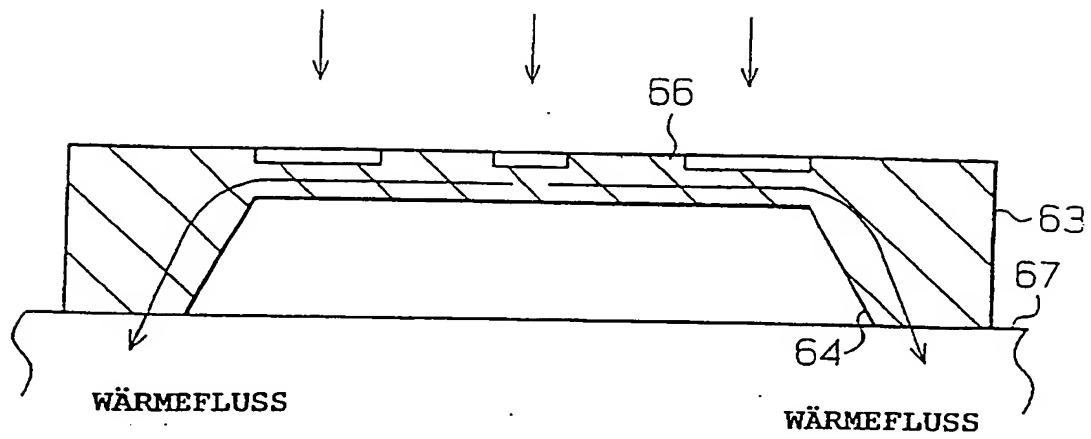
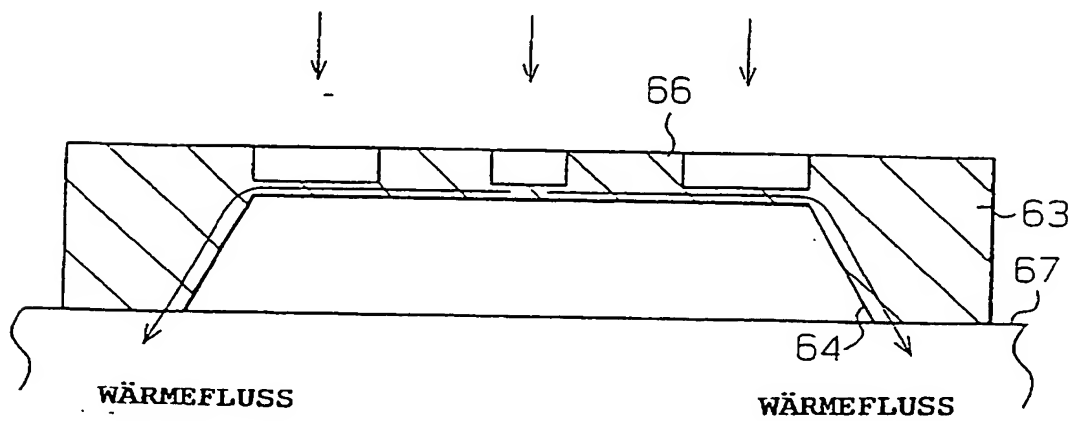


FIG. 23



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.